

## 매개변수기법을 이용한 고속철도 노반공사의 개략공사비 예측모델

## Conceptual Cost Estimation Model Using by a Parametric Method for High-speed Railroad

이영주\* · 장성용\*\*

Lee, Young Joo · Jang, Seong Yong

## Abstract

There is currently applied to the unit cost per a distance (KRW/km) for estimating the conceptual cost of civil work on basic planning stage of high speed railroad. This unit cost is an arithmetic average value based on historical data, which could be in big error. It also is difficult to explain the deficiency comparing the estimated cost derived from next basic design stage. This study provides the conceptual estimation model using by the parametric method and regression analysis. Independent variables are the distance and the geological materials (earth, weathered rock, soft-rock, hard-rock), extracting from the actual data to 36 contracts. The deviation between the unit costs estimated using the developed model and the actual cost data is presented in the range from -0.4% to +31%. This range is acceptable compared the typical range “-30% to + 50%”. This model will improve the accuracy of existing method and be expected to contribute to effective total cost management and the economic aspects, reduce the financial expenditure.

**Keywords** : *conceptual estimate, regression, parametric, high-speed railroad, civil work*

## 요 지

고속철도 기본계획단계에서 노반공사의 토공사 공사비 추정은 단위길이당 공사비(원/km)를 활용하고 있다. 이 단가는 과거 자료를 기준으로 한 산술평균으로 오차가 클 수 있으며, 기본설계 단계 등 다음단계의 견적과 연계성이 부족한 단점이 있다. 본 연구는 철도연장에 토공사의 기술적 특성인 지질조건을 추가하는 매개변수 기반 개략공사비 산정모델을 제시한다. 데이터 분석은 회귀분석법을 적용하였으며, 독립변수는 길이, 지질(토사, 풍화암, 연암, 경암) 구성 비율이고, 36개 공구 실적공사비를 참조하였다. 개발된 모델은 실적공사비와 비교한 결과 -0.4%~+31% 범위로 나타나, 전형적 범위인 -30%~+50% 이내 이므로 유효한 것으로 판정한다. 본 모델은 공사비 영향의 주요요인인 길이에 기술적 특성인 지질요건을 추가함으로써 공사비 산정결과의 신뢰도 향상을 꾀함으로써 단계별 효과적 총사업비관리, 재정지출 감소 및 사업의 경제성 확보에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

**핵심용어** : 개략공사비, 회귀분석, 매개변수, 고속철도, 토공사

## 1. 서 론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

정부는 철도 등 대규모 공공사업에 대한 총사업비관리 지침 및 관리 제도를 마련하여 “재정지출의 생산성 및 시설공사의 품질제고”를 위해 적용하고 있다. 이러한 제도를 도입한 주요 배경 중의 하나는 준공되었거나 건설 중인 대형 국책사업의 소요예산은 당초예산보다 크게는 200% 이상 초과하여 당초예산편성의 졸속성에 많은 비난을 받고 있기 때문이다(문명재 등, 2007).

사업 초기단계에서는 사업범위(scope) 및 설계정보 획득의 한계로 정확한 공사비 예측이 불가능하므로 자연적인 현상

으로 간과할 수 있으나 서방국가의 대형 국책사업의 예산 초과율은 우리나라 보다 크게는 100% 이상 개선되어 있다(문명재 등, 2007). 이 차이는 서방국가는 데이터베이스의 지속적인 구축과 다양한 기법을 적극적으로 활용하는 반면 우리나라는 한정된 과거자료를 기준으로 견적시점에서 단편적으로 공사비를 추정하기 때문인 것으로 판단된다.

철도사업인 경우에 사업초기의 예비타당성조사에서는 시간적, 경제적 제약에 따라 지반조사를 수행하지 않고 길이당 단가(원/km)를 활용하여 개략적으로 공사비를 산정한다. 그러나 이 공사비는 기본계획에서 지반조사를 실시하여 기초, 연약지반 등의 비용이 증가한 것이 주요 증가요인으로 조사되었다(기획재정부, 2010).

\*정회원 · 교신저자 · 한국철도시설공단 계약처 처장 (E-mail : ktx21c@hanmail.net)

\*\*서울과학기술대학교 산업정보시스템공학과 교수 (E-mail : syjang@snut.ac.kr)

고속철도의 노반공사 토공사(土工事) 공사비 추정도 일반 철도와 마찬가지로 단가(원/km) 자료를 주요기준으로 하고 있으나, 이 방법은 오차가 크며, 다음단계(기본설계 등)의 견적과 연계성이 부족한 단점이 있다. 특히 토공사는 흙을 상대로 하는 작업으로서 현장의 지반 성상과 토질의 상태 등 부지조건이 공사비 변동에 큰 영향을 주기 때문에 단순히 길이당 단가를 일괄 적용하는 것은 기술적 위험을 초래할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 토공사를 대상으로 기존의 길이당 단가 견적방법에 지질구성을 추가하여 매개변수기법(parametric method)을 이용한 개략공사비 산정모형을 제시하고자 한다. 이 모델은 토공사의 기술적 특성을 매개변수로 추가하였으므로 개략공사비 산정결과와 정확도를 개선시킬 수 있으며, 기본설계 이후의 지반조건에 따른 상세공사비와 비교가 가능하여 공사비 증감의 원인분석을 위한 자료를 제공하므로서 효과적인 총사업비관리를 지원할 수 있을 것이다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

고속철도공사의 총사업비는 예비타당성단계, 타당성조사 및 기본계획 단계, 기본설계 단계, 실시설계 단계, 시공단계로 구분되어 관리되도록 되어있다(기획재정부, 2010). 본 연구는 당초 사업예산을 추정하는 타당성조사 및 기본계획 단계에서의 공사비 예측 모델 개발을 연구 범위로 한정하기로 한다.

본 연구의 모델은 국내 S고속철도 노반공사의 토공사 준공실적자료를 근간으로 개략공사비 산정모형을 개발한다. 또한 본 모델은 매개변수 산정기법 중 회귀분석법을 이용하며, 연구의 방법 및 흐름은 그림 1과 같다.

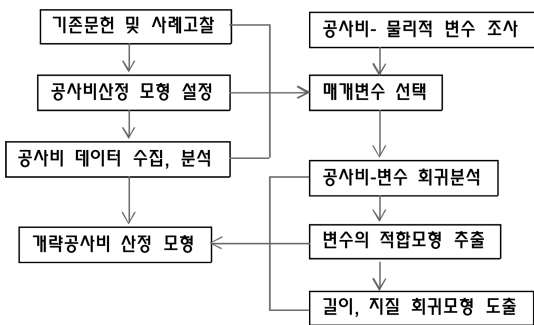


그림 1. 연구의 방법 및 흐름도에비적 고찰

## 2. 예비적 고찰

### 2.1 개략공사비 산정의 연구동향

개략산정기법은 미국의 AACE International에 의하면 “프로젝트 측면에서 개략원가 산정은 프로젝트의 상세한 사업

범위 없이 짧은 기간 내 적은 산정비용으로 원가를 산정하는 방법”으로 정의하고 있다(AACE, 2002). 이 기법은 국내 및 해외 대형 국책사업의 타당성 검토 및 기획단계에서 거의 모두 적용되고 있다.

국내 고속철도 노반공사의 개략산정을 위한 선행연구는 고속철도가 최초로 건설되어 거의 없는 형편이다. 그러나 노반공사가 토공, 교량, 터널로 구성되어 있어, 도로공사와 유사하므로 도로공사의 개략산정에 관한 국내 선행연구를 조사하여 유추해 볼 수 있다.

표 1은 도로공사에 대한 주요 선행연구로서, 대부분 매개변수 모델을 제시하고 있으며, 도구로는 다중회귀분석을 적용하고 있다. 종속변수는 길이당 단가, 독립변수로는 도로공, 교량, 터널별로 3개 이상의 기술적 특성을 선택하고 있다. 또한 사례기반 추론 방법을 선택하였다더라도 공사비 추정 모델은 다중회귀분석을 적용하고 있다.

### 2.2 매개변수 산정기법의 이론적 고찰

매개변수 산정기법은 통계적 견적(Statistical estimating)으로서 다음과 같은 주요 특징이 있다(AACE, 2002).

- 물리적 성능변수(physical or performance variable)와 공사비와의 관련성(CER's: Cost estimating relationships)을 수식을 사용하여 나타낸다.
- 통상적으로 공사비는 종속변수, 물리적 성능변수는 독립변수가 되며, 과거 실적공사비 데이터에 근거를 둔다.
- 대부분의 CER's 는 실적데이터 그래프 상에 최소제곱법 등을 사용하여 직선이나 곡선으로 표현하는 통계적 회귀분석을 활용하여 얻을 수 있다.

여기서 회귀분석은 결과론적 변수를 종속변수(Dependent Variable)로, 그리고 원인적 변수(들)를 독립변수(Independent Variables)로 설정하여 이들 간의 관계를 분석하는 통계적 기법이다. 독립변수가 한 개인 경우를 단순회귀분석, 두 개 이상인 경우를 다중회귀분석(MRA: Multiple Regression Analysis)이라고 한다(윤기중, 1982).

MRA의 기본 식은 식 (1)과 같이 표현될 수 있으며, 결과에 대한 여러 원인들을 한꺼번에 분석할 수 있을 뿐만 아니라 종속변수에 대한 독립변수별 순수한 영향력(pure effect)을 개별적으로 분석할 수 있다. 또한 두 변수간의 관계에 대한 추론을 통해 종속변수의 변화를 예측하거나 설명하기 위해 활용될 수 있다(이학식 등, 2005).

$$Y = a + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_n X_n + \epsilon \quad (1)$$

### 2.3 S고속철도 노반공사의 토공사 개략공사비 산정현황 고찰

S고속철도 사업은 국내 최초 고속철도 사업이며, 약 20조

표 1. 도로공사 개략공사비 산정의 연구현황

저 자	대 상	응용도구	비 고
동아건설(1999)	도로공, 교량, 터널	다중회귀분석	
김영목(2008)	도로공, 교량, 터널	다중회귀분석	
김기환(2009)	거터교	사례기반 추론	데이터: 회귀분석
김상귀(2010)	PSC 교량	사례기반 추론	데이터: 회귀분석

원이상 투입된 대형 국책사업으로서 총 길이 417km이고, 총 사업비의 53%가 노반공사(토목공사)로 구성되어 있다. 노반 공사는 토공, 교량, 터널로 구성되며, 47개 공구로 분할하여 시공을 하였다. 토공의 길이는 96.88km로 24% 차지하며, 금액 기준으로는 노반공사의 약 10%가 된다. 그러나 교량 및 터널에 포함되어 있는 토공을 합치면 20%-30% 정도로 중요한 공사 중의 하나이다.

고속철도사업의 타당성 검토 및 기본계획 수립 시 개략공사비산정은 아래와 같은 기준을 참조하나 통상적으로 물리적 단위법(Physical Dimensions Method)을 활용, “단위길이 당 공사비(원/km)”를 적용하고 있다. 다만 일부 연구기관에서 도시지역 혹은 연약지반 구간에 대하여 금액보정을 권고하고 있다.

- 도로·철도부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제4판)(한국개발연구원, 2004)
- 철도사업 비용책정 적정성 검토(한국개발연구원, 2007)
- 한국철도시설공단에서 제시한 표준단가
- 경부고속철도 사업의 공사비 실적공사비(전체 공구 중 대표공구 선정)

### 3. 토공사의 개략공사비 산정 모델

#### 3.1 실적공사비의 분석 및 가격전환

본 논문에서 적용할 S고속철도의 노반공사 36개 공구 토공사의 준공금액 가격기준일이 모두 상이하므로 특정시점으로 현재가격 화(present-day costs)해야 모델의 현실성을 확보할 수 있다. 실적공사비를 현재가격(2010.12월 기준)으로 전환시키기 위하여 개략공사비산정에서 가장 많이 활용하고 있는 원가지수법(Cost Indexes Method)을 적용하였다.

현재가격으로 전환하기 위한 물가조정공식은 해당 계약서의 물가조정 지수 및 가중치를 기준으로 개발하였으며, '94년 12월 기준 토공사의 물가조정공식의 사례는 표 2와 같다. '10년 12월 기준 물가상승은 약 67%인 것으로 분석되었다.

36개 공구의 2010년 12월 가격기준으로 90.4km의 직접공사비 평균단가(백만원/km)은 57억원(간접비 제외: 간접노무비, 산재보험료, 안전관리비, 기타경비, 일반관리비 및 이윤, 민원처리비, 부가세)으로 분석되었다. 또한 최소 21억원/km, 최대 163억원/km로 공구별 토공사 단가의 편차는 상당히 큰 편이며, 이 범위는 토공사의 기술적 특성(지질구조, 부대공사 등)에 기인한 것으로 판단된다.

#### 3.2 모형개발을 위한 매개변수 선정

노반공사 토공사의 세부 실적공종이 흙 깎기, 흙 돋기, 유용토 운반, 고르기, 부속공사 등 약 250개로서 각 공종별로 상관관계분석을 통하여 공사비에 가장 영향을 주는 인자 즉 매개변수(독립변수)를 선택하는 것은 흙을 상대로 하는 토공사의 특징을 고려하는 경우 비경제적 방법이다. 다른 대안으로 기존연구에서 검토한 기준을 채택하는 것이다.

그러나 고속철도 건설이 국내 최초 공사로 기존 연구에서 취급이 안되어 있다. 다만 공사비 산정기준이 철도연장(길이)이고, 추가로 지형적 요소인 도시부와 일반부 및 연약구간과 일반구간을 중요변수로 보고 있다(한국개발연구원, 2007). 또한 기획재정부의 총사업비관리지침(2010년)의 철도부문 타당성조사 표준지침에 따르면 원/km로 산정하더라도 타당성조사 및 기본계획 단계에서는 예비타당성조사 성과물을 토대로 측량, 지질 및 지반조사를 수행하여 연약지반 등에 대한 공사비 재검토를 권고하고 있다.

종합적으로 토공사는 길이가 주요 변수이지만, 연약지반 등 지반상태도 주요 변수 중의 하나가 될 것으로 판단된다. 따라서 본 논문은 1차적 독립변수로 철도연장(길이)으로 하고 2차적 독립변수로 지반의 성질을 대표하는 지질구성(토사, 풍화암, 연암, 경암의 물량기준 구성비율)으로 한다. 특히 철도의 노선계획은 전산자료인 3차원 수치지형도를 이용하여 작업이 이루어지고 있으며, 타당성 검토 및 기본계획 수립 시 예비 지질 및 지반조사가 이루어지므로 완벽하지는 않지만 개략적으로 지질구성을 추정할 수 있다.

독립변수인 공사구간의 길이와 지질구조는 서로 독립적이다. 공사구간의 길이는 최하위 단계 요인의 성질(원/km로 표현)을 갖고 있지만 지질구조는 구성비율로 나타내야 하므로 합이 항상 1.0(100%)이 되어야 하는 데이터 속성을 갖고 있다. 종속변수(Y로 표현)는 단위 길이 당 토공사 공사비가 된다.

#### 3.3 철도연장(길이)의 회귀분석

토공사의 공사비를 종속변수로 하고 철도연장을 독립변수로 하여 SPSS 통계 패키지를 활용하여 분석결과, 산점도는 그림 2와 같이 선형모형을 갖는다.

상기모형을 회귀분석을 통하여 유의수준을 검증하여 보면, 길이와 길이당 단가(Y)와 상관관계 유의확률 = 0.000 < 0.05 이므로 통계적으로 유의하다고 할 수 있다. 또한 결정계수 R<sup>2</sup>값이 0.992로 분석되어, 독립변수 길이의 회귀모형이 전체 관측 값의 99.2%를 설명하고 있다.

길이의 회귀계수를 구하면 표 3과 같으며 회귀모형은 식 (2)와 같다. 0.922는 표준화 계수의 베타 값으로 단위길이당

표 2. 노반공사의 토공사의 물가조정공식의 사례

비 목	물가지수	가중치	'94.12 지수	'10.12 지수
노무비	시공노임	0.3907	58,692	123,031
기계경비	기계및장비임대	0.2553	115.47	117.00
재료비	광산품	0.0115	69.13	140.80
재료비	공산품	0.3237	71.70	119.30
재료비	농림수산물	0.0135	69.10	127.80
기타비용	생산자물가 총지수	0.0053	73.54	117.80
물가상승률		1.0000	1.6732	1.0000

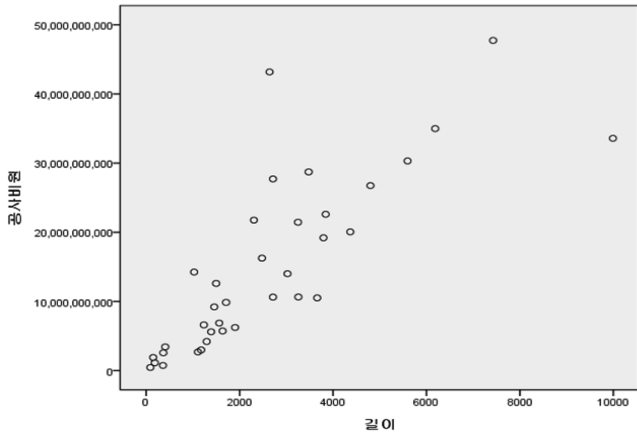


그림 2. 철도연장(길이) 산점도

공사비 가중치로서 길이가 증가할수록 단위당 공사비는 감소하는 것을 의미한다.

$$Y = [\text{철도연장(길이)} \times 0.922] \div (\text{철도연장}) \quad (2)$$

### 3.4 지질구조의 회귀분석

#### 3.4.1 지질구조별 적합모형추정

지질구조와 토공사비 사이의 적합회귀모형을 구하기 위하여 SPSS를 통하여 각 지질의 회귀방정식별 모형 추정 값은 표 4와 같으며 산점도와 함수곡선을 그리면 그림 3과 같다.

본 논문에서는 각 지질의 유의확률은 모두 0.00이므로 R제곱 및 F 값이 큰 회귀방정식과 산점도에 가장 적합한 함수곡선을 선택하면 모두 3차 함수가 적합한 것으로 분석되었다.

#### 3.4.2 토사물량의 회귀모형

토사는 3차방정식 모형을 가지므로 다음과 같은 식 (3)으로 표현된다.

$$Y = a \text{ 토사비율}^3 + b \text{ 토사비율}^2 + c \text{ 토사비율} \quad (3)$$

회귀분석을 통하여  $a, b, c$ 의 값 및 유의수준을 검증하여 보면, 토사비율, 토사비율<sup>2</sup>, 토사비율<sup>3</sup>과 m당 공사비(Y)와 상관관계 유의확률 = 0.000 < 0.05이므로 통계적으로 유의하다고 할 수 있다. 또한 결정계수 R<sup>2</sup>값이 0.775로 분석되어, 독립변수 토사물량의 회귀모형이 전체 관측 값의 77.5%를

설명할 수 있다는 것을 의미한다. 일반적으로 결정계수 R<sup>2</sup>값이 0.4이상만 되면 통계적으로 유의하다고 볼 수 있으나 현실적인 분석에선 대략 0.5~0.6 정도를 유의한 것으로 판단하기 때문에 토사물량은 통계적으로 양호한 유의성을 갖는다.

표 5는 회귀분석으로 얻어진 토사 비율에 대한 회귀계수로 비표준화 계수 B 값은 회귀방정식에서의 계수(각 변수의 물량에 대한 영향정도의 크기)가 되는 것으로  $a, b, c$ 에 각각 적용하면 m당 토공사의 개략 공사비 산정 식은 식 (4)와 같이 추론할 수 있다.

$$Y = 56,642,137 \text{ 토사비율}^3 + (-103,418,445) \text{ 토사비율}^2 + 51,024,186 \text{ 토사비율} \quad (4)$$

#### 3.4.3 풍화암 물량의 회귀모형

풍화암은 3차방정식 모형을 가지며, 회귀분석을 통하여  $a, b, c$ 의 값 및 유의수준을 검증하여 보면, 풍화암비율, 풍화암비율<sup>2</sup>, 풍화암비율<sup>3</sup>과 공사비와 상관관계 유의확률 = 0.000 < 0.05이므로 통계적으로 유의하다고 할 수 있다. 또한 표 6의 분석결과처럼 풍화암비율<sup>2</sup>과 풍화암비율<sup>3</sup>의 회귀계수가 유의확률 통계적 유의수준 범위를 벗어난다.

그러나 풍화암의 적합모형이 3차 방정식이므로 유의하지 않는 풍화암비율<sup>2</sup>를 제외하고 회귀모형은 식 (5)와 같이 구성하였다.

$$Y = a \text{ 풍화암비율}^3 + c \text{ 풍화암비율} \quad (5)$$

상기 모형에 대하여 R제곱이 0.809이고 유의확률 = 0.000 < 0.05이므로 통계적으로 유의하다고 할 수 있다. 풍화암 모형에 회귀분석으로 얻어진 표 7의 비표준화 계수 B를  $a, c$ 에 각각 적용하면 m당 토공사 공사비 산정모형은 식 (6)과 같다.

$$Y = (-267,767,510) \text{ 풍화암비율}^3 + 50,677,820 \text{ 풍화암비율} \quad (6)$$

#### 3.4.4 연암물량의 회귀모형

연암은 3차방정식 모형을 가지며, 회귀분석을 통하여  $a, b, c$ 의 값 및 유의수준을 검증하여 보면, 연암비율<sup>2</sup>, 연암비율<sup>3</sup>과 공사비와 상관관계 유의확률 = 0.000 < 0.05이므로 통계적으로 유의하다. 그러나 연암비율  $c$ 는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 분석되어 모형에서 제외하였으며, 표 8은

표 3. 철도연장의 회귀계수

비표준화 계수		표준화계수	t	유의확률	B에 대한 95.0% 신뢰구간	
B	표준오차	베타			하한값	상한값
5,295,921	375,618	0.922	14.1	0.000	4,533,377	6,058,465

표 4. 회귀방정식별 모형추정

방정식	토 사		풍화암		연 암		경암	
	R 제곱	F	R 제곱	F	R 제곱	F	R 제곱	F
선형모형	0.48	31.7	0.62	51.3	0.61	54.1	0.47	30.7
2차 모형	0.73	45.8	0.82	68.9	0.65	31.3	0.52	18.6
3차 모형	0.78	37.9	0.82	45.5	0.66	21.6	0.68	23.9
지수함수	0.79	129.7	0.78	108.3	0.58	48.0	0.37	20.4

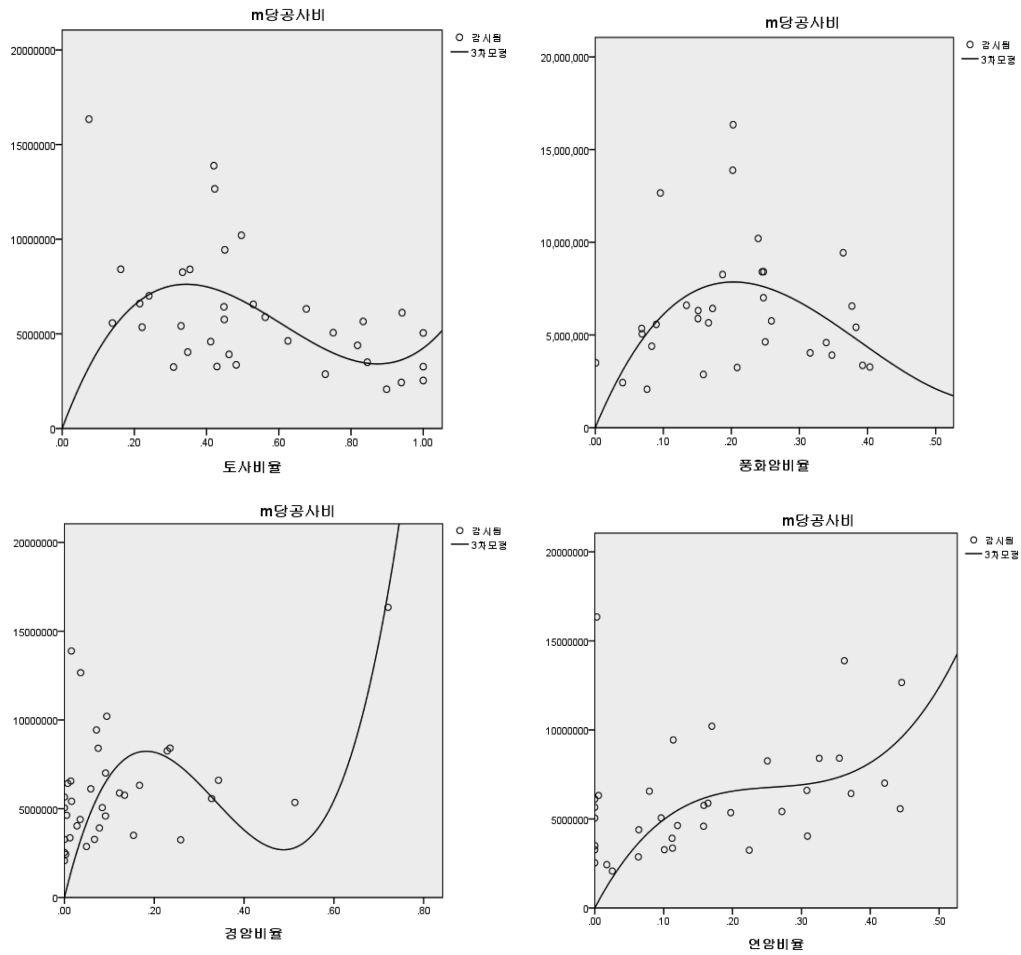


그림 3. 지질구조별 산점도 및 적합모형

표 5. 토사비율의 회귀계수

모형	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의확률	B에 대한 95.0% 신뢰구간	
	B	표준오차				하한값	상한값
토사비율	51,024,186	9,678,953	4.467	5.272	0.000	31,332,208	70,716,164
토사비율 <sup>2</sup>	-103,418,445	30,362,645	-7.234	-3.406	0.002	-165,191,710	-41,645,179
토사비율 <sup>3</sup>	56,642,137	21,901,827	3.522	2.586	0.014	12,082,536	101,201,739

표 6. 토사비율의 회귀계수

모형	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의확률
	B	표준오차			
풍화암비율	87,773,319	23,857,206	2.926	3.679	0.001
풍화암비율 <sup>2</sup>	-292,636,114	183,331,116	-3.097	-1.596	0.121
풍화암비율 <sup>3</sup>	250,952,973	328,529,231	0.935	0.764	0.451

표 7. 풍화암 비율 회귀계수(2차)

모형	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의확률	B에 대한 95.0% 신뢰구간	
	B	표준오차				하한값	상한값
풍화암비율 <sup>3</sup>	-267,767,510	49,465,043	-0.998	-5.4	0.000	-368,788,604	-166,746,416
풍화암비율	50,677,820	5,530,452	1.689	9.2	0.000	39,383,130	61,972,510

회귀분석으로 얻어진 연암 비율에 대한 회귀계수 결과이다.

비표준화 계수 B 값을 회귀방정식에서의 계수 a, b에 각각 적용하면 m당 토공사의 개략 공사비 산정 식은 식(7)과 같이 추론할 수 있으며, 회귀분석결과, R제곱이 0.809이고 유의확률 = 0.000 < 0.05이므로 통계적으로 유의하다고 할 수 있다.

$$Y = (-422,544,867\text{원}) 연암비율^3 + 224,673,067\text{원} 연암비율^2 \quad (7)$$

### 3.4.5 경암물량의 회귀모형

경암은 3차방정식 모형을 가지며, 회귀분석을 통하여 a,

표 8. 연암비율 회귀계수

모형	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의 확률	B에 대한 95.0% 신뢰구간	
	B	표준오차				하한값	상한값
연암비율 <sup>2</sup>	224,673,067	57,663,420	2.494	3.896	0.000	107,486,898	341,859,235
연암비율 <sup>3</sup>	-422,544,867	147,710,851	-1.831	-2.861	0.007	-722,729,433	-122,360,301

b, c의 값 및 유의수준을 검증하여 보면, 연암비율, 경암비율<sup>2</sup>, 경암비율<sup>3</sup>과 공사비와 상관관계 유의확률 = 0.000 < 0.05 이므로 통계적으로 유의하다고 할 수 있다.

표 9는 회귀분석으로 얻어진 경암 비율에 대한 회귀계수로 비표준화 계수 B 값을 a, b, c에 각각 적용하면 m당 토공사의 개략 공사비 산정식은 식 (8)과 같이 추론할 수 있으며, 회귀분석결과, R제곱이 0.809이고 유의확률 = 0.000 < 0.05이므로 통계적으로 유의하다고 할 수 있다.

$$Y = 387,674,481 \text{ 경암비율}^3 + (-389,649,890) \text{ 경암비율}^2 + 103,333,896 \text{ 경암비율} \quad (8)$$

3.4.6 지질구조의 종합 회귀모형

토사, 풍화암, 연암, 경암의 4가지 지질의 비율은 서로의 구성 비율에 영향을 미치며 동시에 토공사 공사비에도 영향을 미친다. 또한 합이 100%(혹은 1.0)이며, 식 (9)와 같이 표현된다.

$$\text{지질 } T_i = \text{토사비율}_i + \text{풍화암비율}_i + \text{연암비율}_i + \text{경암비율}_i = 1.0 \quad (9)$$

지질 T<sub>i</sub>는 각 지질의 구성비 합이 100%인 것을 단순히 나타내는 것으로서 각 지질의 독립적이고 각각 회귀모형을 갖고 있는 것을 설명하지 못하고 있다. 즉 각 지질들이 토공사 공사비에 미치는 영향이 반영되지 않은 단순 구성 함량에 따른 비율이다.

따라서 토공사 공사비 결정에 영향을 미치는 지질구조 각각의 회귀모형을 가중치화 하여 산정되는 공사비를 지질 T<sub>w</sub>로 정의하고, 각 지질비율의 구성 비율을 회귀방정식에 의하여 산정하는 공식을 도출하면 식 (10)과 같이 된다.

$$\text{지질 } T_w = \frac{w_1 \times f(\text{토사비율}_i) + w_2 \times f(\text{풍화암비율}_i) + w_3 \times f(\text{연암비율}_i) + w_4 \times f(\text{경암비율}_i)}{w_1 + w_2 + w_3 + w_4} \quad (10)$$

토공사 단가와 각 지질비율 w값을 SPSS 통계 패키지를 활용하여 구하면 w<sub>1</sub> = 0.396, w<sub>2</sub> = 0.203, w<sub>3</sub> = 0.067, w<sub>4</sub> = 0.413이 된다.

3.5 토공사의 개략공사비 산정모델

본 논문에서 토공사의 독립변수는 철도연장과 지질구조로

표 9. 경암비율 회귀계수

모형	비표준화 계수		표준화 계수	t	유의 확률	B에 대한 95.0% 신뢰구간	
	B	표준오차				하한값	상한값
경암비율	103,333,896	16,950,781	2.898	6.1	0.000	68,847,273	137,820,519
경암비율 <sup>2</sup>	-389,649,890	86,867,089	-5.814	-4.5	0.000	-566,382,312	-212,917,468
경암비율 <sup>3</sup>	387,674,481	94,157,872	3.789	4.1	0.000	196,108,850	579,240,112

설정하였으며 이 두 변수는 상호 독립적이다. 그러나 철도연장(길이)의 회귀분석은 규모의 경제에 대한 모형(용량보정계수와 유사)이므로 지질구조 회귀모형에 의하여 산정된 공사비에 곱해주면 되며, 토공사의 개략공사비산정 모델은 식(11)과 같이 표현된다.

$$Y_i = \text{길이} \times 0.922 \times (\text{지질구조 회귀분석결과}(T_w)) \quad (11)$$

4. 개략공사비 산정모델의 유효성 검증

본 논문에서는 개발된 개략공사비 산정모델의 검증은 36개의 모든 토공사의 독립변수인 길이와 지질구조 값을 본 모델에 입력하여 실제 값과 모델에 의하여 산정된 값과의 편차를 검증에 활용하였다. 36개 토공사 실적공사비와 본 모델에 의한 추정 공사비와 편차율분석공식과 분석결과는 표 10과 같다.

- 백분율 편(오)차율(%) (PE; Percentage Error) = [(모형결과값 - 실적) ÷ (실적)] × 100
- 편(오)차 백분율의 평균(MPE; Mean Percentage Error) = (백분율 오차의 총계) ÷ (데이터 개수 n)
- 편(오)차 백분율의 절대값의 평균(MAPE; Mean Absolute Percentage Error) = |(백분율 오차의 총계)| ÷ (데이터 개수 n)

모형의 편차범위는 -4%~+31% 사이에 있는 것으로 판단되며 AACE의 기본계획단계의 공사비 산정결과의 정확도 범위인 -30%~+50% 범위 내에 위치(AACE, 2002)하고 있어, 본 모델은 유효성을 갖고 있다고 판단된다.

표 10. 모형의 편차율 분석표

구 분	평균단가(억원/km)		
	실적	모형	편차율
토 공	57.1	52.3	-8.48%

모형의 평균값은 실적 대비 -8.5%로 적게 나왔으며, MPE가 +0.3%, MAPE가 +30.4%로 모형의 최대오차가 기본계획단계의 공사비 산정결과의 정확도 범위인 -30%~+50% 범위 내에 위치(AACE, 2002)하고 있어, 본 모델은 유효성을 갖고 있다고 판단된다.

본 연구에서는 고속철도 노반공사 토공사의 다양한 지질특성이 반영된 실적공사비를 기준으로 타당성 조사 및 기본계획 단계에서 실무에 활용할 수 있는 수준의 정확성을 보유한 개략공사비 산정모형을 개발하였다. 개발 도구로는 다중회귀분석방법을 적용하였으며, 독립변수는 문헌고찰 및 현행 기준 분석을 통해 기본계획 단계에서 획득할 수 있는 철도연장(길이)과 기술적 영향이 큰 지질구조를 선택하였다.

모델의 적정성 검증은 36개 공구의 준공데이터를 기준하였으며, 모델에 의한 길이 당 총 평균단가는 52.3억원/km으로 실적대비 약 -8.5% 적게 나타났으며, 본 모델의 MAPE가 +30.4%로 AACE에서 제시된 -30%~+50% 이내(기본계획단계)이므로 유효한 것으로 판정한다.

따라서 본 연구는 토공사 공사비 영향의 주요요인인 길이에 기술적 특성인 지질요건을 추가함으로써 공사비 산정결과와 신뢰도 향상을 꾀함으로써 단계별 효과적 총사업비관리, 재정지출 감소 및 사업의 경제성 확보에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

본 모델은 독립변수로 길이, 지질구조만, 종속변수도 단위 길이 당 공사비만 선택하였으므로 250개 공종을 대표하기에는 한계가 있어 보인다. 따라서 향후 독립변수 및 종속변수를 추가로 확장하면 모델의 정확도를 한층 더 높일 수 있을 것이다.

김기환(2009) 사례기반추론을 이용한 IPC 거더교의 개략공사비산정에 관한 연구, 박사학위논문, 경북대학교, 대구.

김상귀(2010) 교량 건설사업 수행단계별 가용정보에 기반한 개략공사비산정모델-PSC Beam교 중심으로, 박사학위논문, 중앙대학교, 서울.

김영목(2008) 중회귀분석을 이용한 고속도로 공사비 추정 모델 개발, 박사학위논문, 부경대학교, 부산.

동아건설산업(주)(1999) 공사실적자료에 의한 건설사업비 산정시스템 개발에 관한 연구보고서, 건설교통부, 서울.

문명재, 이철주, 주기완, 하연희, 곽연륜(2007.6) 대형국책사업 집행실패의 영향요인 분석, 한국정책학회보, 한국정책학회, 제16권, 2호.

윤기중(1982) 통계학, 법문사, 서울.

이학식, 임지훈(2005) SPSS 12.0 매뉴얼 : 통계분석방법 및 해설, 법문사, 서울.

조정연, 김경주, 김경민, 김상귀(2008) 표준단면을 이용한 터널공사비 예측모델개발(I), 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제28권 제5D호, pp. 665-675.

한국개발연구원(2007) S철도사업 비용책정 적정성 검토, 한국개발연구원, 서울.

AACE international (2002) *Skill & Knowledge of Cost Engineering (4th ed.)*, AACE international, Morgantown, USA.

(접수일: 2011.5.6/심사일: 2011.5.16/심사완료일: 2011.5.16)